

И. А. Грушин, А. И. Сафарян, С. С. Слезов*

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва

*slezov93@mail.ru

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. кафедры «МиТОМ» А. М. Мамонов

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ ПЛАСТИЧНОСТЬ ТИТАНОВОГО СПЛАВА С СОДЕРЖАНИЕМ АЛЮМИНИЯ, ПРЕВЫШАЮЩИМ ПРЕДЕЛЬНУЮ РАСТВОРИМОСТЬ

Установлено влияние водорода на структуру, фазовый состав и сопротивление горячей пластической деформации опытного сплава Ti–8,7Al–1,5Zr–2Mo, перспективного для изготовления силовых режущих хирургических инструментов. Установлено, что легирование водородом до 0,3 и 0,6 масс. % увеличивает объемную долю β -фазы при температурах $\alpha+\alpha_2+\beta$ -области и снижает предел текучести сплава на 115–200 МПа при температурах деформации 800–850°C.

Ключевые слова: титановый сплав, водород, горячая деформация, предел текучести, фазовый состав, динамическая рекристаллизация.

I. A. Grushin, A. I. Safaryan, S. S. Slezov

THE INFLUENCE OF HYDROGEN ALLOYING ON THE STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL PLASTICITY OF THE TITANIUM ALLOY WITH ALUMINUM CONTENT EXCEEDING LIMIT SOLUBILITY ABSTRACT

The influence of hydrogen on the structure, phase composition and resistance of hot plastic deformation of the Ti–8.7Al–1.5Zr–2Mo experimental alloy, promising for the manufacture of power cutting surgical instruments, is established. It was found that doping with hydrogen to 0.3 and 0.6 wt. % increases the volume fraction of the β -phase at temperatures $\alpha+\alpha_2+\beta$ -region and reduces the yield strength of the alloy by 115–200 MPa at deformation temperatures of 800–850°C.

Keywords: titanium alloy, hydrogen, hot deformation, yield stress, phase composition, dynamic recrystallization.

Применение титановых сплавов для изготовления силовых ортопедических инструментов, особенно режущих и ударных инструментов для обработки плотных костных структур при артропластике крупных суставов, весьма ограничено. Одним из ключевых

требований к ним является жесткость конструкции, которая определяется, кроме геометрических параметров, модулем упругости материала. С этих позиций для изготовления подобных инструментов предпочтительными являются высокомодульные титановые сплавы с повышенным содержанием алюминия – псевдо- α сплавы и сплавы с интерметаллидной α_2 -фазой.

Опыт обработки таких сплавов с применением водородных технологий – водородного пластифицирования (ВП) и термоводородной обработки (ТВО) – показал возможность повышения технологической пластичности, твердости и износостойкости титановых сплавов с высоким содержанием алюминия, в том числе сплавов с интерметаллидным упрочнением на основе $\alpha+\alpha_2$ -структуры.

В данной работе исследовано влияние дополнительного легирования водородом на структуру, фазовый состав и технологическую пластичность при горячей деформации опытного титанового сплава с повышенным (по сравнению с промышленными сплавами) содержанием алюминия.

Исследования проведены на прутковом полуфабрикате диаметром 15 мм опытного сплава Ti–8,7Al–1,5Zr–2Mo. Из прутка вырезали образцы $\varnothing 10 \times 13$ мм для исследований структуры, фазового состава и сопротивления деформации при осадке.

Насыщение образцов водородом до концентраций 0,3 и 0,6 % ($\pm 0,02$ %) проводили в установке Сивертса, в среде чистого газообразного водорода при температурах 850–750°C. Количество введенного водорода определяли по привесу образцов с помощью точных электронных лабораторных весов A&D HR-150AG.

Осадку образцов в торец осуществляли при температурах 800 и 850°C в изотермических условиях на универсальной испытательной машине FP-100 с усилием 100 кН при постоянной скорости деформирования 3,7 мм/мин, соответствующей начальной скорости деформации $\dot{\epsilon} = 4,6 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе AXIO Observer.A1m при увеличениях до 1000 крат. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре модели ДРОН-4 в фильтрованном медном K_α излучении. По результатам рентгеновской съемки проводили качественный и количественный анализ фазового состава.

Структура образцов исходного горячекатаного прутка после отжига при 950°C показана на рис. 1, а. По данным рентгеноструктурного анализа фазовый состав сплава после отжига представлен α -, β - и α_2 -фазами.

Легирование водородом до концентраций 0,3 и 0,6% приводит к увеличению объемной доли β -фазы до 20 и 30%, соответственно (рис. 1, б, в).

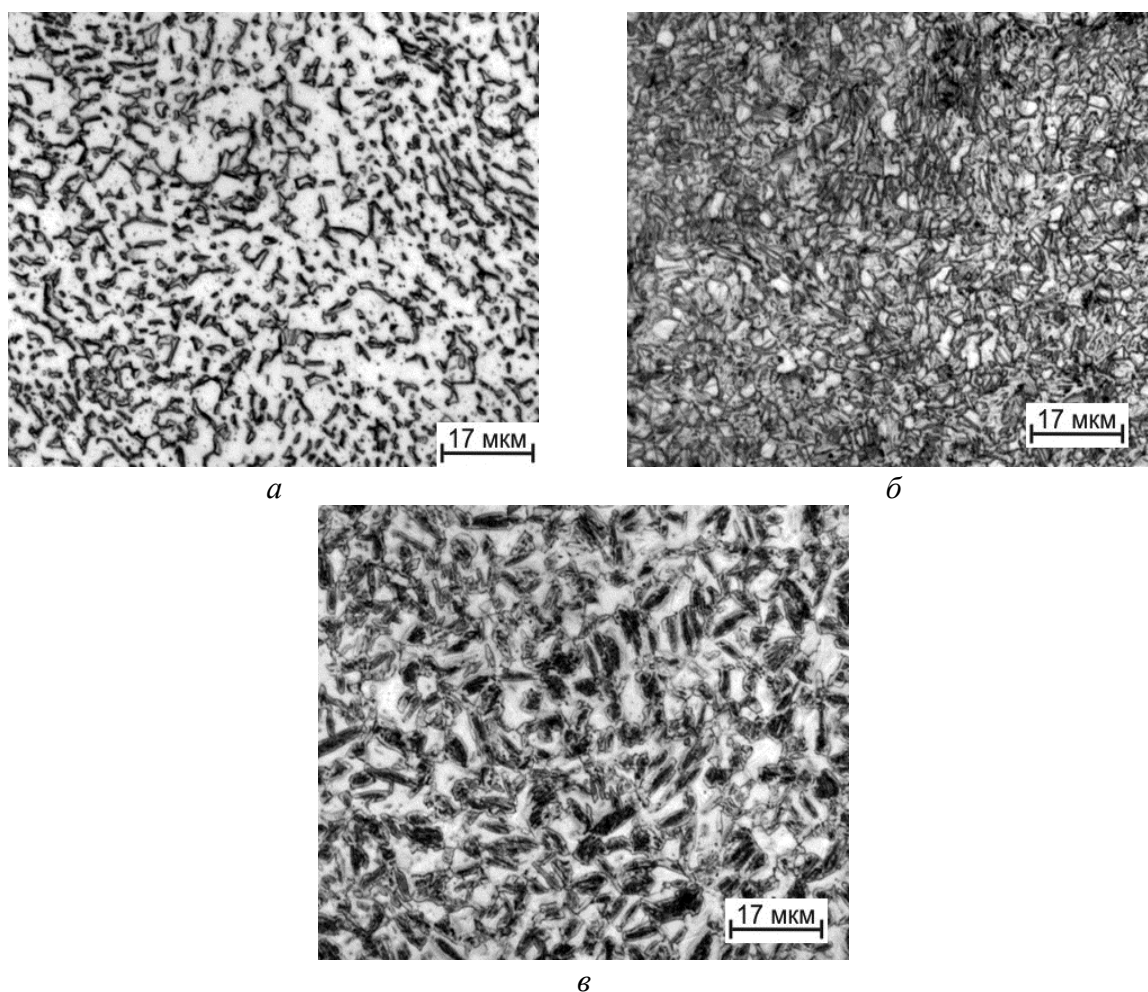


Рис. 1. Структура прутка сплава Ti–8,7Al–1,5Zr–2Mo: а – после отжига при 950 °С; б, в – после насыщения водородом до концентраций 0,3 и 0,6 %

Для уточнения фазового состава сплава с разным содержанием водорода при выбранных температурах осадки (800 и 850 °С) проведена закалка с этих температур.

Объемная доля β -фазы в сплаве с исходным содержанием водорода составила 10–15 %, в образцах с 0,3 % водорода – 20 и 30 %, с 0,6 % водорода – 30 и 60 %, соответственно, при температурах нагрева под закалку 800 и 850 °С.

Водород приводит к снижению предела текучести при обеих температурах деформации (рис. 2).

В большей степени пластифицирующее действие водорода сказывается при температуре деформации 800 °С – введение 0,6 % водорода снижает предел текучести более, чем на 200 МПа.

При увеличении степени деформации ее силовые условия изменяются вследствие развития разупрочняющих процессов (рис. 3). Эти деформационные процессы контролируются с одной стороны разупрочняющими процессами динамической рекристаллизации $\alpha(\alpha_2)$ -фазы (α -фаза с упорядоченными микрообъемами α_2 -фазы в теле α -частиц) и динамической полигонизации β -фазы, а с другой – деформационным упрочнением β -фазы.

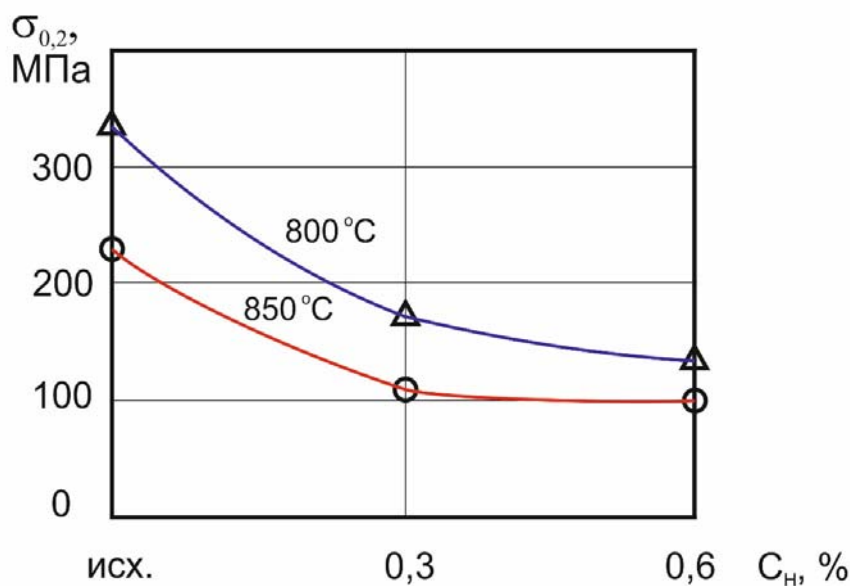


Рис. 2. Влияние содержания водорода (C_H) и температуры на предел текучести сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo при изотермической осадке

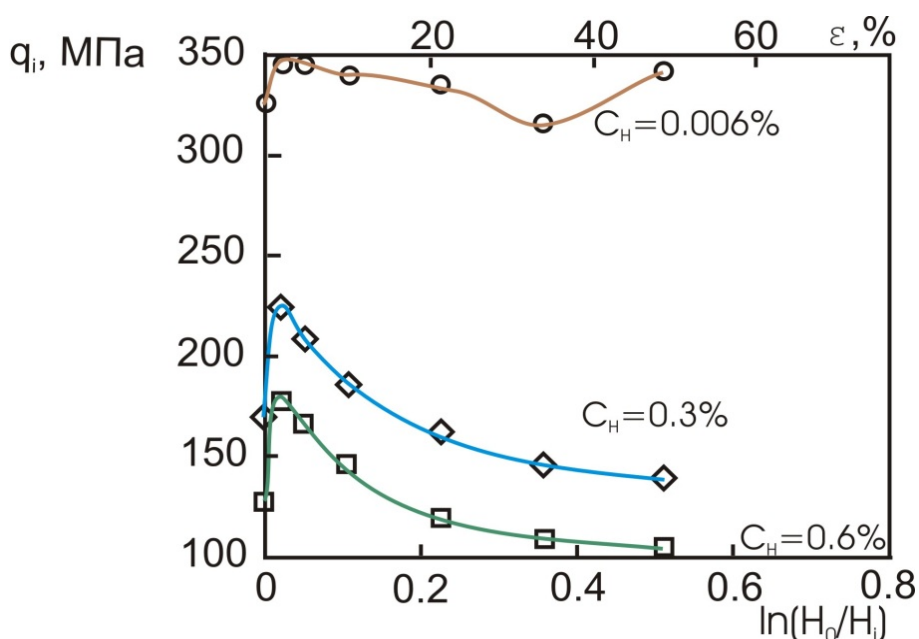


Рис. 3. Зависимость удельного усилия осадки (q_i) сплава Ti-8,7Al-1,5Zr-2Mo от степени деформации и содержания водорода при температуре 800 °C

Деформационное разупрочнение резко возрастает при увеличении содержания водорода от исходного до 0,3 % при обеих температурах осадки, причем более интенсивно при температуре 800 °С. Основной вклад в разупрочнение сплава вносит динамическая рекристаллизация $\alpha(\alpha_2)$ -фазы.

Приближение температуры деформации к температуре $\alpha+\beta/\beta$ -перехода, зависящей от содержания водорода, снижает как общее сопротивление сплава пластической деформации, так и интенсивность деформационного разупрочнения.

Таким образом, легирование водородом в исследованном интервале концентраций позволяет осуществлять горячую пластическую деформацию этого сплава при температурах не выше 850 °С и сопротивлении деформации на уровне 100–150 МПа, что соответствует режимам, принятым для промышленных конструкционных $\alpha+\beta$ -сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водородная технология титановых сплавов / А. А. Ильин [и др.]. МИСИС, 2002. 392 с.
2. Ильин А. А. Применение материалов на основе титана для изготовления медицинских имплантатов / А. А. Ильин [и др.] // Металлы. 2002. № 3. С. 97–104.
3. Ильин А. А. Механизм и кинетика фазовых и структурных превращений в титановых сплавах / А. А. Ильин. Москва : Наука, 1994.
4. Коллингз Е. В. Физическое металловедение титановых сплавов: пер. с англ. / Е. В. Коллингз. Москва : Металлургия, 1988.